

### Method for focusing a microscope and microscope for carrying out the method

Publication number: DE3340647

**Publication date:** 1985-05-23

**Inventor:** BOSECK SIEGFRIED PROF DR (DE); SCHMIDBAUER  
GEORG (DE); KREITLOW HORST DR (DE); ILLGEN  
EDGAR (DE); LUELLMANN JOHANNES (DE)

**Applicant:** WILL WETZLAR GMBH (DE)

**Classification:**

- International: G02B21/24; G02B21/24; (IPC1-7): G02B7/11; G02B21/24

- **European:** G02B21/24B2

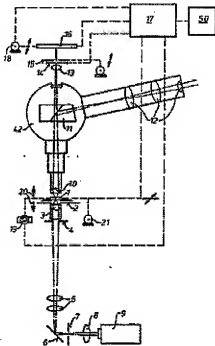
**Application number:** DE19833340647 19831110

**Priority number(s):** DE19833340647 19831110

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE3340647

Self-focusing microscope in which a sensor is used to form the difference in brightness of each image point from its two adjacent points and these differences in brightness are summed up for all the image points, in which the distance of the object from the objective is subsequently adjusted and the said sum is formed once again, and in which the object distance from the objective is selected at which the assigned sum represents a maximum.





- (21) Aktenzeichen: P 33 40 647.2  
(22) Anmeldetag: 10. 11. 83  
(23) Offenlegungstag: 23. 5. 85

(1) Anmelder:

Will Wetzlar GmbH, 6330 Wetzlar, DE

(2) Erfinder:

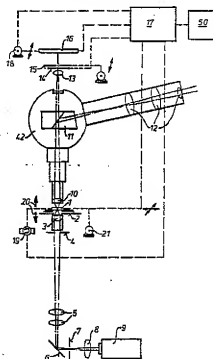
Boseck, Siegfried, Prof. Dr., 2804 Lilienthal, DE;  
Schmidbauer, Georg, 6330 Wetzlar, DE; Kreitlow,  
Horst, Dr., 3030 Walsrode, DE; Ilgen, Edgar, 2400  
Lübeck, DE; Lüllmann, Johannes, 2800 Bremen, DE

Behördeneigentu

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(3) Verfahren zur Fokussierung eines Mikroskopes sowie Mikroskop zur Durchführung des Verfahrens

Selbstfokussierendes Mikroskop, bei dem mit Hilfe eines Sensors von jedem Bildpunkt die Helligkeitsdifferenz zu seinen beiden Nachbarpunkten gebildet wird und diese Helligkeitsdifferenzen für sämtliche Bildpunkte aufaddiert werden, bei dem anschließend der Abstand des Objektes vom Objektiv verstellt wird und erneut die genannte Summe gebildet wird, und bei dem derjenige Objektstand vom Objektiv ausgewählt wird, bei dem die zugeordnete Summe ein Maximum darstellt.



---

WILL WETZLAR GMBH, Wilhelm-Will-Straße 7, 6330 Wetzlar 21

---

Verfahren zur Fokussierung eines Mikroskopes  
sowie Mikroskop zur Durchführung des Verfahrens

Patentansprüche

1. Verfahren zur Fokussierung eines Mikroskopes, dadurch gekennzeichnet, daß für wenigstens einen Teil der Bildpunkte  
5 des Objektes die Helligkeitsdifferenzen zwischen jedem dieser Punkte und seinen beiden Nachbarpunkten ermittelt wird, daß die ermittelten Helligkeitsdifferenzen für sämtliche Bildpunkte summiert werden, daß anschließend der Abstand des Objektes vom Objektiv in einem engen Schritt verstellt wird und erneut  
10 die Summe der Helligkeitsdifferenzen der Bildpunkte gebildet wird, daß dieser Vorgang solange wiederholt wird, bis in einer Entfernungseinstellung des Objektes vom Objektiv das Maximum der Summe der Helligkeitsdifferenzen erhalten wird.

15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten Summenwerte in Abhängigkeit von den Abstandswerten zwischen Objekt und Objektiv gespeichert werden, und anschließend das Objekt auf denjenigen Abstand vom Objektiv gefahren wird, der dem Maximum der Summe der Helligkeitsdifferenzen entspricht.  
20

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikroskop visuell oder automatisch vorfokussiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich der Fokusbreite (Schärfenzone des Objektes) ermittelt und zur Ermittlung des Maximums in engen Schritten durchfahren wird.

5 5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vorfokussierung der in Frage kommende Abstandsbereich zwischen Objekt und Objektiv grob durchfahren wird, daß aus diesem Bereich der in Frage kommende Bereich für die Ermittlung des Maximums der Summe der Lichtintensitätsdifferenzen  
0 ermittelt wird und anschließend der in Frage kommende Bereich ein zweites Mal zur Feinfokussierung durchfahren wird.

5 6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Fokussierung des Mikroskopes nur ein Bild des Objektes ausgewertet wird.

0 7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Fokussierung des Mikroskopes mehrere Objektausschnitte oder das gesamte Objekt ausgewertet werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt senkrecht zur optischen Achse in seinen zwei Koordinatenrichtungen verschoben wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Bildebene ein die Helligkeiten von drei benachbarten Bildpunkten erfassender Sensor (CCD-Sensor = Charge-Coupled-Deviced-Sensor) vorgesehen wird, welcher zur Summenbildung in  
10 den beiden Koordinatenrichtungen über die Bildebene schrittweise verschoben wird.

15 10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Bildebene ein die Helligkeitsdifferenzen der Bildpunkte einer Zeile gleichzeitig erfassender Sensor vorgesehen

wird, welcher schrittweise senkrecht zur Zeilenrichtung verschoben wird.

5 11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Bildebene ein die Helligkeitsdifferenzen zwischen den Bildpunkten einer Fläche oder den einzelnen Zeilen der Fläche erfassender Sensor vorgesehen wird.

10 12. Verfahren nach Anspruch 9, 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor aus einzelnen lichtempfindlichen Elementen besteht, deren Abstand (Pixelabstand) dem Radius der Airy-Scheibchen entspricht.

15 13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor als Empfängerzeile mit 256 Elementen ausgebildet ist, dem ein Halbleiterspeicher nachgeschaltet ist.

20 14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor flächenförmig angeordnete Elemente (CCD-Array) aufweist und dem Sensor ein digitaler Halbleiterspeicher nachgeschaltet ist.

25 15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor mechanisch mit Hilfe eines Motors über das Bild des Objektes zwischen Endanschlägen schrittweise bewegt wird.

30 16. Mikroskop zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Verstellung des Abstandes des Objektes vom Objektiv ein mit einer Untersetzung auf den Feintrieb des Mikroskopes wirkender Schrittmotor vorgesehen ist.

35 17. Mikroskop zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikroskop einen

Adapter für die Aufnahme einer Kamera trägt, in deren Bildebene der Sensor angeordnet ist.

5 18. Mikroskop nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Adapter einen Lichtteiler aufweist, der die Lichtstrahlen einerseits in die Bildebene der Kamera lenkt und andererseits in ein Okular für die visuelle Betrachtung des Objektes.

0 19. Mikroskop nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Kamera ein Monitor nachgeschaltet ist.

15 20. Mikroskop nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtteiler aus dem Strahlengang herauschwenkbar ist.

21. Mikroskop zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Mikroskop ein Computer nachgeschaltet ist.

20 22. Mikroskop nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer auf den Schrittmotor zur Höhenverstellung des Objektes wirkt.

25 23. Mikroskop nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer einen Schrittmotor für die Verschiebung des Sensors in der Bildebene steuert.

30 24. Mikroskop nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Schrittgröße so gewählt ist, daß der Radius der Airy-Scheibchen wenigstens dem Pixelabstand der Elemente des Sensors entspricht.

35 25. Mikroskop nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer die Belichtungszeit der Kamera steuert.

26. Mikroskop nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer selbsttätig die Größe der Aperturblinde, der Leuchtfeldblende und/oder die Beleuchtungsstärke einstellt.

5            27. Mikroskop nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet,  
daß dem Computer ein Speicher nachgeschaltet ist.

28. Mikroskop nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer ein Programm zur automatischen Fokussierung, ein Programm zur Bildabtastung, ein Programm zur Wiedergabe von Bilddaten auf einen Matrixdrucker und ein Programm zur Übertragung von Daten auf andere Rechner aufweist.

29. Mikroskop zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Beleuchtungseinrichtung, welche wenigstens annähernd das Köhlersche Beleuchtungsprinzip erfüllt.

30. Mikroskop nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet,  
20 daß im Beleuchtungsstrahlengang ein Zentrierlinsensystem vor-  
gesehen ist.

31. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Anwendung für analytische und diagnostische Zwecke.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Fokussierung eines Mikroskopes sowie ein Mikroskop zur Durchführung des Verfahrens. Mikroskope werden üblicherweise dadurch fokussiert, daß der Benutzer das Objekt visuell betrachtet und mit Hilfe eines Grob- und Feintriebes den das Objekt tragenden Mikroskoptisch so lange höhenverstellt, bis die gewünschte Bildschärfe erhalten worden ist.

Bei Routineuntersuchungen von Objekten, vor allem im medizinischen Bereich, zum Beispiel in der Diagnostik, ist eine Vielzahl gleichartiger Präparate zu untersuchen, was bei visueller Fokussierung des Mikroskopes zu Ermüdungserscheinungen des Benutzers führt. Hierdurch kann es zu Diagnosefehlern kommen, und es ist in keiner Weise eine Normierung der Präparateauswertung möglich. Auch fehlen bisher technische Einrichtungen, die bei einer mangelhaften Qualität des Präparates eine Warnung für den Diagnostiker oder Analytiker erlauben.

Aufgabe der Erfindung ist es, den Fokussiervorgang zu objektivieren, derart, daß die Fokussierung vom Benutzer des Mikroskopes vollkommen unabhängig wird.

Im Zuge eines Forschungs- und Entwicklungsauftrages des Bundesministeriums für Forschung und Technik wurde als Lösung für diese Aufgabe das Verfahren des Anspruchs 1 entwickelt. Es wurde gefunden, daß dann, wenn man die Intensitätsunterschiede eines Bildpunktes zu seinen benachbarten Bildpunkten im Objektbild für sämtliche Bildpunkte summiert oder wenigstens für einen Teil der Bildpunkte, ein bestimmter Wert erhalten wird, der dann ein Maximum darstellt, wenn das Mikroskop fokussiert ist.

Mathematisch ausgedrückt heißt dies:



Es wird die Summe S gebildet:

$$S = \sum_{y=1}^n \sum_{x=2}^{m-1} |2I_{x,y} - I_{x-1,y} - I_{x+1,y}|$$

- 5 wobei y die Zeilennummer ist,  
 x die Spaltennummer,  
 $I_{x,y}$  der Helligkeitswert im Bildpunkt x,y,  
 n die Anzahl der ausgewerteten Zeilen,  
 m die Anzahl der ausgewerteten Bildpunkte einer Zeile.

10

Aufgrund dieser Voraussetzung verstellt man den Abstand des Objektes vom Mikroskop in engen Schritten, beispielsweise mit Hilfe eines Schrittmotors und bildet nach jeder Verstellung die genannte Summe. Man hat dann nur diejenige Objekteinstellung auszusuchen, bei der die zugehörige Summe ein Maximum ist. Die Summenbildung für jede Objekteinstellung kann computermäßig durchgeführt werden, und der Computer stellt selbsttätig den Schrittmotor vor und zurück, bis die Scharfeinstellung erfolgt ist.

20

Um zu schnellen Ergebnissen zu kommen, kann man den in Frage kommenden Bereich zweimal durchfahren, nämlich einmal in weiteren Schritten für eine Grobfokussierung und ein zweites Mal den dann in Frage kommenden engeren Bereich für die Feineinstellung. Im allgemeinen ist jedoch ein zweimaliges Durchfahren nicht notwendig, wenn nur die Verstellsschritte klein genug sind.

25

Vorteilhaft kann man in weiterer Ausgestaltung der Erfindung, insbesondere dann, wenn eine Vielzahl gleichartiger Präparate zu untersuchen ist, in einem Vorversuch zunächst visuell oder automatisch das Mikroskop grob vorfokussieren, insbesondere indem die Fokusbreite ermittelt und im nachgeschalteten Computer gespeichert wird. Man braucht dann nur noch den Bereich der Fokushbreite zu durchfahren, um eindeutig

30

35

die endgültige Fokussiereinstellung zu erhalten.

Um die Intensitätsdifferenzen zwischen benachbarten Bildpunkten zu ermitteln, kann man in der Bildebene des Mikroskopes, vorteilhaft in der Bildebene einer Kamera, welche über einen Adapter mit dem Mikroskop verbunden ist, einen Sensor anordnen, der die Helligkeitsdifferenzen eines Bildpunktes zu seinen beiden Nachbarpunkten in einer Zeile ermittelt. Dieser Sensor ist dann zur Summenbildung in den beiden Koordinatenrichtungen der Bildebene von Bildpunkt zu Bildpunkt zu verschieben. Der Radius der Airy-Scheibchen, das ist der räumliche Abstand von benachbarten Bildpunkten, bei denen Intensitätsunterschiede noch erfaßbar sind, muß hierbei dem Pixelabstand, das ist der räumliche Abstand der von einem Sensorelement noch einzeln erfaßbaren Bildpunkte, entsprechen.

Eine derartige Verschiebung ist zeitaufwendig, so daß die Autofokussierung des Mikroskopes erhebliche Zeit in Anspruch nimmt.

Zu einem schnelleren Ergebnis kommt man, wenn man einen Sensor, bestehend aus einer CCD-Empfängerzeile mit zum Beispiel 256 Elementen, vorsieht, welcher die Helligkeitsdifferenzen der Bildpunkte der Zeile zu ihren Nachbarpunkten in der Zeile über die Zeilenlänge des Objektbildes gleichzeitig erfaßt, und wenn man diese Zeile zur Summenbildung senkrecht zur Zeilenrichtung schrittweise verschiebt. Bei Verwendung eines derartigen Sensors fokussiert sich das Mikroskop in etwa zehn Sekunden.

Zu einem noch schnelleren Ergebnis kommt man, wenn man von vornherein einen Sensor verwendet, der flächenmäßig verteilt eine Vielzahl von lichtempfindlichen Elementen aufweist, welche gleichzeitig die Helligkeitsdifferenzen jedes Bildpunktes zu seinen Nachbarpunkten erfassen. Hierbei genügt es, wenn

auch dieser Sensor die Helligkeitsdifferenzen der Bildpunkte zeilenmäßig erfaßt. Bei dieser Ausbildung fokussiert sich das Mikroskop in etwa zwei Sekunden.

5 Bei Verwendung eines linienförmig ausgebildeten Sensors kann man ebenfalls zu einem schnelleren, jedoch nicht so genauen Ergebnis kommen, wenn man die Zahl der auszuwertenden Lichtzeilen in der Objektebene beschränkt, das heißt, nicht 256 Zeilen abtastet sondern nur etwa 20 derartige Zeilen.

10 Da für die Summenbildung der Helligkeitsdifferenzen ohnehin ein Computer vorgesehen ist, kann dieser bei Verwendung einer Sensorzeile jedesmal dann, wenn er die Zeilensumme gebildet hat, den Sensor über die Nachbarzeile schieben, bis  
15 sämtliche Zeilen erfaßt und ausgewertet sind. Vorteilhaft sieht man hierfür einen Schrittmotor vor. Ist die Summe für sämtliche Zeilen gebildet, wird der Computer den Schrittmotor für die Höhenverstellung des Objektes in Tätigkeit setzen, worauf sich der gesamte Vorgang wiederholt.

20 Der Computer steuert auch vorteilhaft über den Kameraverschluß die Belichtungszeit des Sensors, damit die Ermittlung der Intensitätsdifferenzen nicht gestört wird. Auch ist es möglich, den Computer dazu zu verwenden, bestimmte Objektgebiete koordinatenmäßig zu erfassen und die Ergebnisse zu  
25 speichern.

Weitere Einzelheiten der Erfindung können den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung der Zeichnung  
30 eines Ausführungsbeispiels entnommen werden.

Es zeigen:

35 Fig. 1 den schematischen Aufbau eines selbstfokussierenden Mikroskopes;

- Fig. 2a - 2i Einzelheiten zur Erläuterung der Wirkungsweise;  
 Fig. 3 eine Teilansicht des Mikroskopes;  
 Fig. 4 eine geänderte Ansicht des Mikroskopes.

5

Gemäß Fig. 1 wird ein auf dem Mikroskoptisch 2 angeordnetes Präparat 1 mit Hilfe einer Beleuchtungseinrichtung 3 bis 8 ausgeleuchtet. Die Beleuchtungseinrichtung besteht im vorliegenden Fall aus einem Laser 9 mit vorgeschaltetem Kolimator 8 und einer Leuchtfeldblende 7. Ein Planspiegel 6 lenkt die Laserstrahlen über Zentrierlinsen 5, die Aperturblende 4 und den Kondensor 3 zum Präparat 1. Eine Laserbeleuchtung wird gewählt, wenn das Objekt sehr stark ausgeleuchtet werden soll. Im allgemeinen genügen normale Beleuchtungseinrichtungen, da die Sensorempfindlichkeit sehr groß ist.

15

Die Beleuchtungseinrichtung ist so ausgebildet, daß wenigstens annähernd das Köhlersche Beleuchtungsprinzip erfüllt wird.

20

Das Präparat 1 wird mit Hilfe eines Mikroskopobjektives 10 über ein in einem Adapter 42 angeordnetes Teilerprisma 11 in die Bildebene eines Okulares 12 abgebildet. Mit Hilfe des Okulares 12 kann das Präparat visuell betrachtet werden. Die durch das Teilerprisma laufenden Lichtstrahlen treten in eine Kamera 13, 14, 15, 16 ein, wo sie in der Bildebene gesammelt werden. Die Kamera besteht aus dem Objektiv 13, einem Verschluss 14, einer Blende 15 und einer in der Bildebene angeordneten Sensorzeile 16.

25

30

Der Sensor 16 ermittelt die Helligkeitsdifferenzen jedes Bildpunktes der Zeile zu seinen benachbarten Bildpunkten und gibt diese in einen Computer 17, der die Summe der Helligkeitsdifferenzen über die Länge der Sensorzeile bildet. Jedesmal dann, wenn die Summe der Helligkeitsdifferenzen längs der

35

Sensorzeile ermittelt worden ist, wirkt der Computer auf einen Schrittmotor 18, der den Sensor 16 senkrecht zur Zeichenebene um einen Schritt verstellt. Nach jedem Schritt wird erneut die Summe der Helligkeitsdifferenzen der Bildpunkte der Zeile gebildet. Der Computer addiert sämtliche Zeilensummen auf und wirkt, nachdem er die Summe der Helligkeitsdifferenzen für sämtliche Bildpunkte des Objektbildes gebildet und gespeichert hat auf einen Schrittmotor 19, der das Präparat 1 in Richtung der optischen Achse, d.h. in Richtung der Pfeile 20 in einem engen Schritt höhenverstellt. Nach jedem Schritt bildet der Computer 17 erneut die Summe der Helligkeitsdifferenzen zwischen den Bildpunkten des Objektes. Dann, wenn der Computer 17 bei einer Höheneinstellung des Präparates ein Maximum unter den Summen der Helligkeitsdifferenzen ermittelt hat, beendet der Motor die schrittweise Verstellung des Präparates. Das Präparat hat dann eine Lage eingenommen, daß es scharf abgebildet wird, mit anderen Worten, das Mikroskop ist dann auf das Präparat fokussiert

Diese Art der Fokussierung ist möglich, wenn die Fokussierungsfunktion monoton ist. Die Methode kann aber dann versagen, wenn einfache, gegebenenfalls auch nur teilkorrigierte Abbildungssysteme verwendet werden und diese noch dazu auf dicken Präparaten mit anisotroper Extinktionsverteilung und Streulichterzeugung verwendet werden.

Man legt dann durch einen Vorversuch, der gegebenenfalls automatisch erfolgen kann, die Fokusbreite fest, bei der das Lichtmikroskop die Schärfenzone des Objektes durchfährt. Diese Breite kann gegebenenfalls so weit gewählt werden, daß sie für ein ganzes Präparat gültig ist. Sodann durchfährt das Mikroskop in hinreichend engen Fokussierungsschritten, die im wesentlichen vom Aperturwinkel des Beleuchtungssystems abhängen das Präparat und nimmt bei jedem Schritt ein Bild vollständig auf. Hierzu berechnet der Computer die zugehörigen Summen und speichert die ermittelten Werte als Funktion der Fokusposition

ab. Nach dem Durchlaufen des gesamten Fokusbereiches wird das absolute Maximum aller Bildgütewerte ermittelt und die zugehörige Fokusposition mit Hilfe des Schrittmotors und der Höhenregelung des Objektisches aufgesucht. Es ist prinzipiell möglich, in einem zweiten Durchgang eine verfeinerte Fokusposition zu finden, was aber kaum nötig ist, sofern die Schärfentiefe, das Auflösungsvermögen und der Bildkontrast in ein richtiges Verhältnis gebracht werden.

10 Der Computer kann ferner auf einen Motor Z1 wirken, der das Präparat in der Objektebene in den beiden Koordinatenrichtungen verstellt, so daß nicht nur ein Objektausschnitt für die Auswertung erfaßt wird sondern das ganze Präparat.

15 Anstelle des linienförmig ausgebildeten Sensors kann ein flächenförmig ausgebildeter Sensor verwendet werden. Dieser braucht in der Bildebene der Kamera nicht mehr senkrecht zur Zeichenebene verschoben zu werden, sondern er kann unmittelbar die Summe der Helligkeitsdifferenzen für sämtliche Bildpunkte des abgebildeten Objektausschnittes durchführen.

20 Die Wirkungsweise der Sensorzeile 16 soll anhand der Figuren 2a bis 2i beschrieben werden.

25 Auf einen p-dotierten Siliziumkristall (Fig. 2a) werden linear angeordnete, durch dünne  $\text{SiO}_2$ -Schichten vom Halbleiter isolierte Elektroden aufgebracht. Durch eine angelegte positive Spannung werden freie Elektronen im Substrat in die Nähe der Elektrode transportiert und bilden dort eine Schicht freier Ladungsträger, die den dort vorhandenen "Potentialtopf"

30 nicht verlassen können. Durch Umschalten der angelegten Spannung auf die nächste Elektrode kann die gesammelte Ladung in den neuen "Potentialtopf" übergehen. Damit ist das unter der ersten Elektrode gesammelte Ladungspotential unter die zweite

35 Elektrode transportiert worden.

Schaltet man mehrere Elektroden so, daß jede zweite miteinander verbunden ist, erhält man ein analoges Schieberegister mit dem sich Ladungen durch das Substrat transportieren lassen. Ein Rückfließen der Ladung läßt sich durch eine spezielle Verteilung des Potentials verhindern.

Die Sensorzeile 16 weist 256 linear angeordnete, gegeneinander isolierte Fotodioden 30 und zwei analoge Schieberegister 31 und 32 sowie einen ladungsempfindlichen Detektor 34 auf mit nachgeschalteter Entladestufe und einem Vorverstärker.

Der Ladungstransport ist durch das Signal-Zeit-Diagramm der Steuersignale und den dazugehörigen Positionen der Ladungspakete gemäß Fig. 2b deutlich.

Bis zum Zeitpunkt  $\emptyset 1$  werden in den Fotodioden 30 die durch den inneren Fotoeffekt freiwerdenden Elektronen angesammelt (Fig. 2c). Zum Zeitpunkt  $\emptyset 2$  werden die in den ungeradzahligen Fotodioden des Sensors angesammelten Ladungen in das dazugehörige Transportregister 31 entleert (Fig. 2d). Zum Zeitpunkt  $\emptyset 3$  geschieht das Gleiche für die geradzahligen Fotodioden, d.h. diese werden in das Transportregister 32 entleert (Fig. 2e).

Die nun in den Transportregistern 31 und 32 befindlichen Ladungen werden zum Zeitpunkt  $\emptyset 4$  in einer "Eimerkette" um eine Position weitergereicht. Zum Zeitpunkt  $\emptyset 5$  liegt das erste Ladungspaket des ungeradzahligen Schieberegisters 31 am ladungsempfindlichen Detektor 34 an.

Der Entladeimpuls entlädt über eine Schaltstufe die am Detektor anliegende Ladung (Fig. 2g). Das geradzahlige Transportregister bringt nun sein erstes Ladungspaket an den Detektor 34 (Fig. 2i).

Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, bis alle 256 Ladungspakete wechselseitig aus beiden Schieberegistern ausgelesen sind. Dann erfolgt entweder eine erneute Übernahme der bis dahin in den Fotodioden gesammelten Elektronen; oder der Auslesevorgang wird solange fortgesetzt, bis die eingestellte Belichtungszeit der Kamera erreicht ist. Dieses weitere Auslesen der leeren Schieberegister verhindert, daß sich in ihnen durch Licht- und Wärmeeinwirkung Elektronen ansammeln (innerer Fotoeffekt, thermische Paarbildung). Die Belichtungszeit wird also nur noch von Effekten begrenzt, die direkt auf die Fotodioden einwirken (thermische Paarbildung, Diffusion).

Die relativ hohe Stromaufnahme des Sensors bewirkt jedoch eine starke Erwärmung und damit die Bildung eines Dunkelstromes, der durch die Begrenzung des Signal-Rausch-Verhältnisses der Meßwerte eingegrenzt werden muß. Um dies zu erreichen, wird der Sensor durch einen Propylalkoholkreislauf mit thermischer Kontaktplatte bei einer Temperatur von  $0^{\circ}$  Celsius unter Verwendung von Trockenstickstoff gehalten, um eine Taubildung zu vermeiden. Anstelle des Propylalkoholkreislaufes kann auch eine Luftkühlung vorgesehen sein bzw. in extremen Fällen eine Kühleinrichtung über Peltier-Elemente.

Der beschriebene Sensor ist äußerst empfindlich, d.h. er erlaubt das Aufintegrieren von elektrischen Ladungen auch bei sehr schwachen Beleuchtungsstärken bis zum Erreichen eines Signales, das von einem vertretbaren Rauschen begleitet wird. Insofern ist der vorliegende Sensor mit einer Fotoplatte vergleichbar. Der Sensor ist so empfindlich, daß er auch dann Helligkeitsdifferenzen aufnimmt, wenn ein Beobachter visuell kaum noch etwas im Mikroskop sieht. Der errechnete relative Umfang der verwertbaren Beleuchtungsstärken beträgt  $1:5 \cdot 10^3$ . In der Praxis hat es sich als vorteilhaft erwiesen, Beleuchtungsstärken im Verhältnis  $1:1 \cdot 10^2$  auszunutzen.



Um die Fokussierung zu beschleunigen, kann man für die Querverschiebung des Sensors größere Schritte wählen, indem beispielsweise nicht 256 Zeilen abgetastet werden sondern nur etwa 20.

5

Die Fokussierzeit beträgt etwa zehn Sekunden bei Verwendung einer Sensorzeile. Bei Verwendung eines flächenförmigen Sensors sinkt diese Zeit auf etwa zwei Sekunden.

10

Fig. 3 zeigt eine Teilansicht des Mikroskopes. Der computergesteuerte Motor 19 wirkt über einen Zahnriemen 40 auf den Knopf 41 des Feintriebes des Mikroskopes, und zwar mit einer Unterersetzung. Der Feintrieb bleibt hierbei auch von Hand betätigbar.

15

20

Fig. 4 zeigt die Vorderseite des Mikroskopes. Die Kamera 44 mit ihren nachgeschalteten Elementen ist an einem Stativ 45 befestigt. Am Element 44 sind die Bedienungsknöpfe vorgesehen. Der Computer selbst ist nicht dargestellt. Ihm ist ein Drucker 50 nachgeschaltet (Fig. 1), der die ermittelten Daten festhält insbesondere die koordinatenmäßige Lage des Präparates mit Bezug auf die optische Achse.

25

Der Kamera 44 kann des weiteren ein Monitor nachgeschaltet werden, auf dem das Objekt bzw. der Objektausschnitt visuell betrachtet werden kann. In diesem Fall entfällt die visuelle Betrachtung mit Hilfe des Okulares 12.

30

Kn/s  
041183

35

- 16 -  
- Leerseite -

21

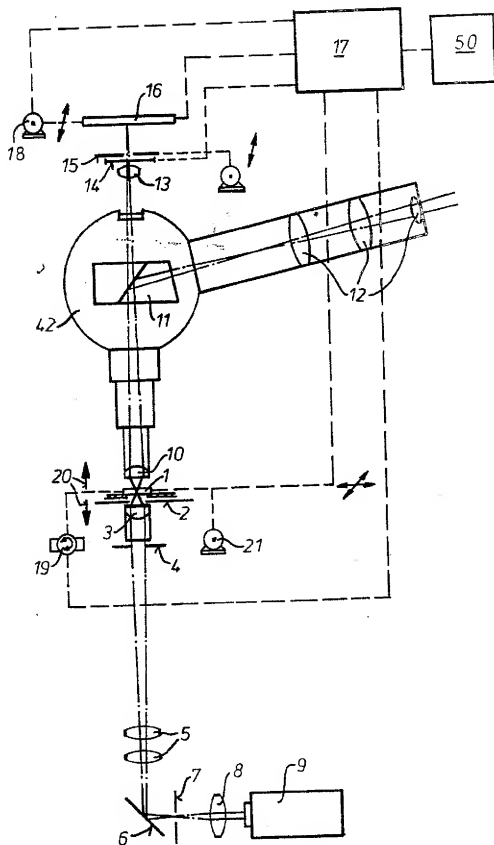
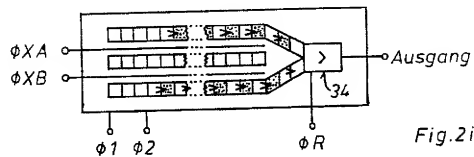
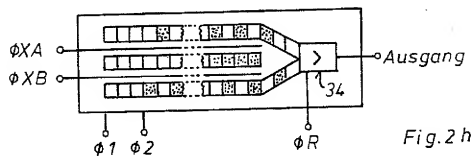
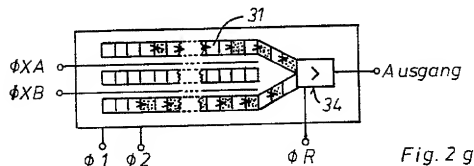
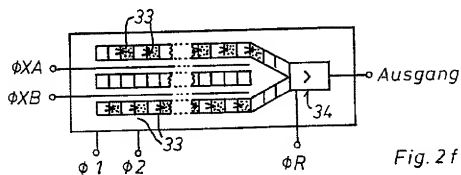
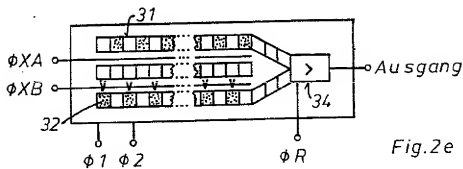


Fig. 1





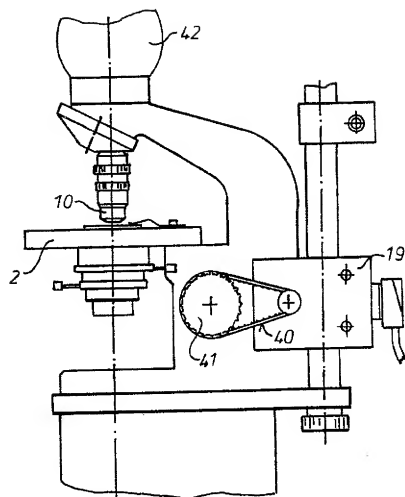


Fig. 3

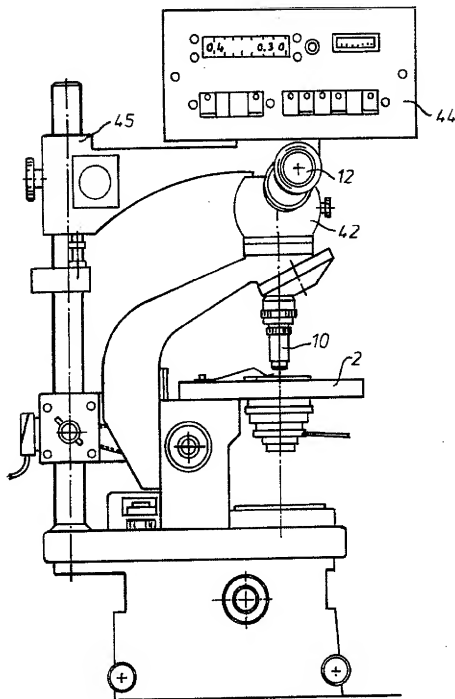


Fig. 4